УДК 621.791.75.037

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ДУГОВОЙ СВАРКИ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ В ЩЕЛЕВУЮ РАЗДЕЛКУ

Д.А. Чинахов, В.Т. Федько, О.Г. Брунов, Ю.Н. Сараев*

Юргинский технологический институт ТПУ
*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск
E-mail: zver73@rambler.ru

Рассматривается проблема сварки легированных высокопрочных сталей в щелевую разделку. Изложены результаты сравнительных исследований образцов из стали 30ХГСА, выполненных разными способами импульсной дуговой сварки. Установлено, что способ сварки с импульсной подачей электродной проволоки имеет ряд преимуществ и обеспечивает надежное качество формирования шва и работоспособность соединений с щелевой разделкой.

Легированные высокопрочные стали обладают высоким комплексом эксплуатационных свойств и используются для производства ответственных сварных конструкций [1, 2]. Они обеспечивают высокую прочность конструкции при одновременном снижении ее металлоемкости. Однако, при сварке стали данного класса склонны к закалке и образованию холодных трещин. Под воздействием термического цикла сварки в зоне термического влияния (ЗТВ) формируются закалочные структуры, характеризующиеся большим значением твердости и малой вязкостью. Поэтому на зону сплавления и ЗТВ приходится наибольший процент образования холодных трещин [3].

Для предотвращения образования холодных трещин зачастую прибегают к дополнительным операциям, усложняющим технологический процесс и увеличивающим количество затрат на изготовление сварных конструкций. В отечественной и зарубежной практике для этой цели широко применяют предварительный подогрев и последующую термообработку. Такая технология сварки позволяет, в некоторой степени, снизить уровень содержания диффузионного водорода в сварном соединении, скорость охлаждения металла шва и ЗТВ и увеличить время протекания структурных превращений [4–6].

Однако, эта технология сложна и нерациональна, поскольку требует тщательного контроля температуры и режимов сварочного процесса, а неравномерность подогрева и термической обработки крупногабаритных изделий ведет к возрастанию внутренних напряжений и деформаций. Кроме того, применение предварительного подогрева и термообработки связано с дополнительными энергетическими и трудовыми затратами [6–8].

Необходимо также учитывать, что легированные высокопрочные стали (30ХГСА, 25ХГСА, 12Х2НЧА и др.) чувствительны к концентраторам напряжений, особенно после обычной закалки и отпуска, а также подвержены охрупчиванию в результате насыщения водородом [2], что при высоких внутренних напряжениях или циклической нагрузке может служить причиной зарождения холодных трещин и привести к разрушению сварной конструкции.

Насыщение металла шва водородом происходит в результате длительного пребывания сварочной ванны в жидкой фазе. Сократить это время можно при помощи управления переносом электродного металла в сварочную ванну. В настоящее время разработаны и применяются различные способы сварки с управляемым переносом электродного металла. Каждый способ обладает своими достоинствами и недостатками [9]. С другой стороны, увеличенное время пребывания металла сварочной ванны в жидком состоянии способствует лучшему перемешиванию электродного металла с основным, что приводит к снижению уровня структурной и механической неоднородности в зоне сплавления [10].

Цель настоящей работы определить способ дуговой сварки плавлением, обеспечивающий требуемое качество формирования шва и работоспособность сварных соединений легированных высокопрочных сталей с щелевой разделкой.

Для достижения поставленной цели были проведены исследования сварных соединений с щелевой разделкой (соединение в замок, рис. 1, применяемая для сварки гидроцилиндров) из стали 30ХГСА, полученные разными способами дуговой сварки в CO_2:

1) сварка с импульсной подачей электродной проволоки;
2) импульсная дуговая сварка без коротких замыканий;
3) импульсная дуговая сварка с короткими замыканиями.

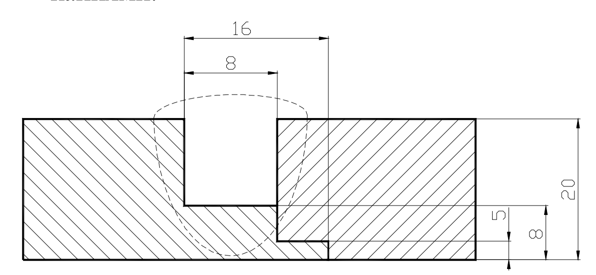


Рис. 1. *Схема соединения в замок*

Во всех случаях производили механизированную сварку поворотного стыка трубы диаметром 90 мм с толщиной стенки 20 мм в CO_2 за несколько проходов в щелевую разделку (соединение в замок) сварочной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм без подогрева и последующей термообработки. Для сварки выбирали рациональные режимы с учетом особенностей формы разделки и свариваемой конструкции. Полученные сварные образцы подвергли механическим испытаниям (табл. 1) и провели анализ микроструктуры сварных соединений (рис. 2, 4, 5).

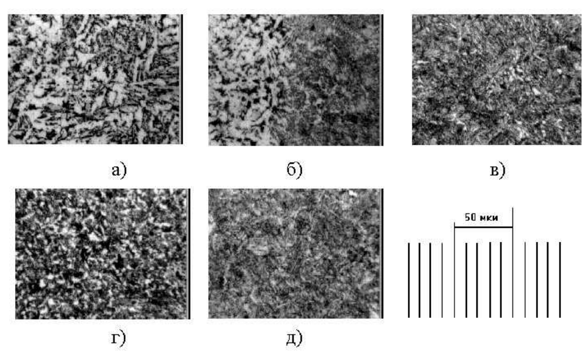


Рис. 2. *Микроструктура соединения из стали 30ХГСА, выполненного сваркой с импульсной подачей электродной проволоки: а) шов; б) зона сплавления; в) участок перегрева; г) участок нормализации; д) основной металл*

Сварка с импульсной подачей электродной проволоки обеспечивает хорошее сплавление кромок сварного соединения с щелевой разделкой (рис. 3, *а*) и качественное формирование шва. Отсутствие зависимости управления переносом электродного металла в сварочную ванну от вылета электрода [6] позволяет выполнять качественную сварку соединений с глубиной щелевой разделки до 30...35 мм без нарушения стабильности управления переносом электродного металла. Это обеспечивает стабильность качества формирования шва и механических свойств сварных соединений (табл. 1).

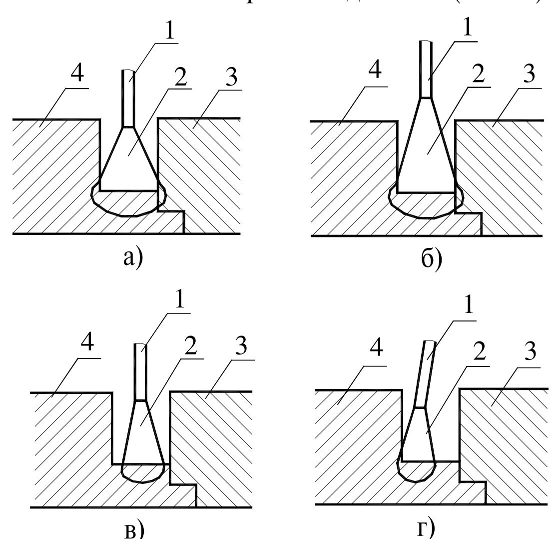


Рис. 3. *Оплавление периферии сварного соединения с щелевой разделкой при сварке: 1) электродная проволока; 2) столб дуги; 3), 4) свариваемые детали; а) с импульсной подачей электродной проволоки; б) без коротких замыканий; в), г) с короткими замыканиями*

Сварка с импульсной подачей электродной проволоки обладает рядом специфических свойств, отличающих ее от традиционной сварки при непрерывной подаче проволоки. Так, при традиционном способе, сила тока зависит от скорости подачи проволоки. При импульсной подаче с изменением скорости движения проволоки во время импульса изменяется не сила тока, а размер капли переносимого металла, который способен нарушить равновесие и перейти в сварочную ванну, а сила тока зависит от средней скорости подачи сварочной проволоки. Средняя скорость задается шагом проволоки и частотой подачи импульсов, которая в свою очередь зависит от скорости плавления металла. Скорость плавления металла изменяет скважность импульсов и, соответственно, длительность периода. Отсюда следует, что время подачи импульса зависит от заданного минимального тока дуги, а частота подачи импульсов проволоки и, следовательно, средняя скорость ее движения, зависит от скорости плавления электродного металла, то есть от напряжения [6].

Анализ микроструктуры сварных соединений показал, что в шве образуется мелкозернистая структура из феррита и перлита (рис. 2, *а*), явно выраженная зона сплавления (рис. 2, *б*) говорит о малом пребывании расплавленного металла в жидкой фазе, в околошовных зонах наблюдаются троостобейнитные структуры (рис. 2, *в*). Мелкие зерна феррита и перлита на участке нормализации (рис. 2, *г*) не свидетельствуют о большом перегреве основного металла в этой зоне.

Получаемая на протяжении всей глубины шва мелкодисперсная структура в сочетании с высокой пластичностью (табл. 1) обеспечивает высокую работоспособность сварных соединений.

Таблица. *Результаты механических испытаний сварных образцов из стали 30ХГСА*

Способ сварки	Временное сопротивление разрыву, МПа	Ударная вязкость, Дж/см² при 20 °С	Твердость	
			шва, НВ	ЗТВ, HRC
1. С импульсной подачей электродной проволоки	650...670 660	131...138 135	163...173 168	29...30 29,5
2. Импульсная дуговая без коротких замыканий	700...730 715	38...75 57	179...209 184	28...32 30
3. Импульсная дуговая с короткими замыканиями	445...595 520	52...73 62	179...183 181	27...32 30

При импульсной дуговой сварке без коротких замыканий увеличивается площадь оплавления периферии соединения в замок (рис. 3, *б*) за счет распределенного источника нагрева, образованного расширенным столбом дуги, что увеличивает долю основного металла в шве и способствует лучшему перемешиванию расплавленного электродного металла с основным. Об этом свидетельствуют механические характеристики металла шва (табл. 1), которые приближаются по своим значениям к основному металлу. Однако, низкая ударная вязкость и большое значение твердости делает сварное соединение непригодным для работы под знакопеременными нагрузками, т.к. может произойти его хрупкое разрушение. В тоже время появляется опасность насыщения металла шва и ЗТВ водородом, приводящая к охрупчиванию металла сварного соединения, т.к. увеличивается площадь расплавленного металла сварочной ванны и время пребывания его в жидком состоянии. Очевидно, что это и является причиной снижения ударной вязкости и увеличения твердости металла шва.

При анализе микроструктуры сварных соединений было отмечено, что в шве образуется неравномерная структура из мелких и крупных зерен феррита и перлита (рис. 4, *а*), зона сплавления в виде плавного перехода от наплавленного металла к основному (рис. 4, *б*), что говорит о длительном пребывании расплавленного металла в жидкой фазе, в околошовных зонах наблюдаются грубые закалочные структуры (рис. 4, *в*). Крупные зерна феррита и перлита на участке нормализации (рис. 4, *г*) свидетельствуют о значительном перегреве основного металла в этой зоне, что может быть вызвано большим объемом сварочной ванны и длительным пребыванием расплавленного металла в перегретом состоянии.

Во время проведения экспериментов появились определенные затруднения. Хотя применение импульсной дуговой сварки без коротких замыканий обеспечивает хорошее сплавление кромок деталей при соединении в замок за счет увеличения площади оплавления широким столбом дуги. Однако, наложение последнего облицовочного шва, вследствие высокого газодинамического воздействия импульсной дуги на металл сварочной ванны, сильно затруднено (практически невозможно). Так как процесс сварки становился нестабильным, это заставило выполнить переход к импульсной дуговой сварке с короткими замыканиями для качественного формирования облицовочного шва.

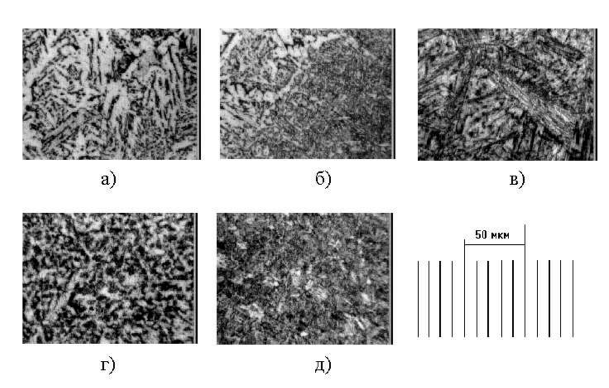


Рис. 4. *Микроструктура соединения из стали 30ХГСА, выполненного импульсной дуговой сваркой без коротких замыканий: а) шов; б) зона сплавления; в) участок перегрева; г) участок нормализации; д) основной металл*

При сварке образцов импульсной дуговой сваркой с короткими замыканиями также столкнулись с некоторыми трудностями: с увеличением вылета электродной проволоки пропадает возможность управления переносом электродного металла в сварочную ванну; узкий столб дуги (рис. 3, *в*) не обеспечивает надлежащего оплавления кромок свариваемых деталей с щелевой разделкой для получения качественного сварного соединения, что вызывает необходимость в поперечных колебаниях электрода (рис. 3, *г*). Однако, малое раскрытие кромок щелевой разделки не позволяет нормально выполнять поперечные колебания электродом. В результате в сварном соединении образуются дефекты в виде непроваров и трещин, что снижает качество формирования шва и работоспособность сварного соединения в целом (табл. 1).

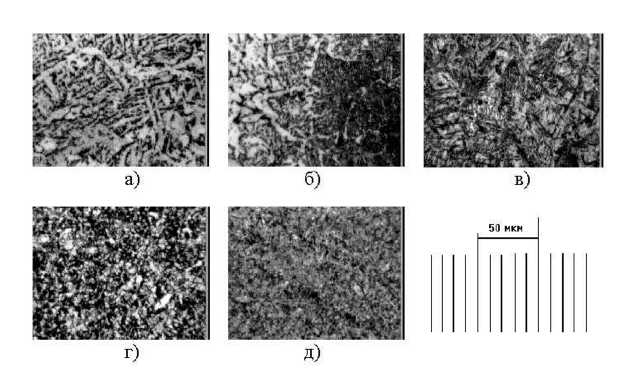


Рис. 5. *Микроструктура соединения из стали 30ХГСА, выполненного импульсной сваркой с короткими замыканиями: а) шов; б) зона сплавления; в) участок перегрева; г) участок нормализации; д) основной металл*

Анализ микроструктуры сварных соединений показал, что в шве образуется мелкозернистая структура из феррита и перлита (рис. 5, *а*), явно выраженная зона сплавления (рис. 5, *б*) говорит о малом пребывании расплавленного металла в жидкой

фазе, в околошовных зонах наблюдаются троосто-бейнитные структуры (рис. 5, *в*). Мелкие зерна феррита и перлита на участке нормализации (рис. 5, *г*) не свидетельствуют о большом перегреве этой зоны.

Таким образом, анализ проведенных исследований показывает, что сварка с импульсной подачей электродной проволоки является наиболее эффективной для получения сварных соединений легированных высокопрочных сталей с щелевой разделкой. При этом она обеспечивает:

- надежное сплавление кромок сварного соединения с щелевой разделкой и качественное формирование шва;
- стабильность управления переносом электродного металла на протяжении всего процесса сварки;
- стабильность качества формирования шва и механических свойств сварного соединения с высокой пластичностью;
- высокую работоспособность сварного соединения при работе изделия под нагрузками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. 1. Свариваемость материалов. Справ. изд. / Под ред. Э.Л. Макарова – М.: Металлургия, 1991. – 528 с.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
3. Сараев Ю.Н., Чинахов Д.А. Повышение механических характеристик при сварке стали 30ХГСА // Сварка и родственные технологии: мировой опыт и достижения: Матер. II Междунар. симп. – Минск, 2001. – С. 108–109.
4. Миходуй Л.И., Гончар А.К. Особенности сварки толстолистовых конструкций из низколегированных высокопрочных сталей // Автоматическая сварка. – 1990. – № 10. – С. 41–45.
5. Касаткин Б.С., Бреднев В.И., Царюк А.К., Николаенко В.П. Сварка под флюсом сталей 18Х2Н4МА, 38ХН3МФА и 40ХН2МА // Автоматическая сварка. – 1993. – № 6. – С. 30–34.
6. Сараев Ю.Н., Чинахов Д.А., Шпигунова О.И. Способы повышения трещиностойкости сварных соединений легированных сталей типа 30ХГСА // Технология машиностроения. – 2001. – № 1. – С. 35–39.
7. Походня И.К. Управление водородом в сварных соединениях сталей // Автоматическая сварка. – 1997. – № 8. – С. 23–27.
8. Готальский Ю.Н., Новикова Д.П. О механизме предотвращения околошовных трещин при сварке закаливающихся сталей с использованием аустенитных материалов // Автоматическая сварка. – 1992. – № 2. – С. 21–25.
9. Сараев Ю.Н. Импульсные технологические процессы сварки и наплавки. – Новосибирск: Наука, 1994. – 108 с.
10. Елагин В.П., Снисарь В.В., Савицкий М.М., Гордань Г.Н., Васильев В.Г., Дорошенко Л.К. Химическая и структурная неоднородности в зоне сплавления низкоуглеродистой стали с аустенитным швом при сварке в защитных газах // Автоматическая сварка. – 2001. – № 4. – С. 8–13.
11. Федько В.Т., Брунов О.Г. Управление процессом сварки при импульсной подаче электродной проволоки // Технология металлов. – 2000. – № 8. – С. 27–30.

УДК 621.313